

Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia, 4 (1), 2019, page 68-76

Tersedia online di <https://jurnal.unitri.ac.id/index.php/rekabuana>

ISSN 2503-2682 (Online)

ISSN 2503-3654 (Cetak)



Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Deterministik di Wilayah Surabaya

Himatul Farichah¹

¹ Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surabaya, Jl Raya Sutorejo No 59, Dukuh Sutorejo, Mulyorejo, Surabaya, 60113 Indonesia
Email : cichafarichah@gmail.com

ABSTRAK

Kota Surabaya dilewati oleh dua patahan aktif yang berpotensi gempa berkekuatan 6.5 M_w . Selain itu, Wilayah kota Surabaya merupakan daerah yang rata-rata dataran rendah, yang berkisar 80% merupakan endapan alluvial. Sehingga perlu dilakukan analisis potensi likuifaksi. Analisis potensi likuifaksi hanya dilakukan pada data tanah wilayah Surabaya Pusat. Analisis awal potensi likuifaksi dilakukan berdasarkan aspek gradasi tanah, *relative density* (DR), *fine content* (FC), derajat kejenuhan (SR), dan jumlah pukulan SPT. Sedangkan analisis lanjutan dengan menghitung *Cyclic Shear Ratio* (CSR), *Cyclic Resistance Ratio* (CRR), dan *Factor of safety* (FS) dengan menggunakan metode Youd dan Idriss 2001 dan metode Idriss 2008. Analisis awal kemudian dibandingkan dengan analisis lanjutan untuk disimpulkan potensi likuifaksinya. Berdasarkan analisis awal, pada kedalaman 1-7 m masih ada potensi likuifaksi, sedangkan tidak ada lagi potensi likuifaksi pada kedalaman lebih dari 22 m. Berdasarkan analisis lanjutan dan kesimpulan analisis, hampir semua kedalaman memiliki potensi likuifaksi hingga kedalaman 17m.

Kata kunci : Likuifaksi, gempa, analisis potensi likuifaksi

ABSTRACT

Surabaya is traveled by two active faults which can trigger earthquake of magnitude 6.5 M_w . Moreover, on average, Surabaya area is a lowland which is dominated with alluvial deposits. Thus, liquefaction potential analysis is required. The soil data used in this analysis was taken from the center of Surabaya. The initial analysis of liquefaction potential was conducted by considering the soil gradation, the relative density (DR), the fine content (FC), the degree of saturation (SR) and the SPT number. However, the advanced analysis was undertaken by utilizing Youd and Idriss 2001 and Idriss 2008 method. Thereafter, the conclusion of the potential analysis was obtained by comparing the results of initial analysis and advanced analysis. The results of initial analysis show that, generally, the soil has potential to be liquefied at the depth 1-7m, however at the depth 22m the soil is not liquefied. Moreover, the results of advanced analysis and the conclusions of the analysis show that the soil has a liquefied potential at the depth 17 m from the surface.

Keywords : *liquefaction; earthquake; analysis of liquefaction potential*

Cara Mengutip : Farichah, H. (2019). Analisis Potensi Likuifaksi dengan Metode Deterministik di Wilayah Surabaya. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 4 (1), 68-76.

<http://dx.doi.org/10.33366/rekabuana.v4i1.1195>

1. PENDAHULUAN

Likuifaksi adalah sebuah fenomena ketika tanah kehilangan kekuatan dan kekakuannya akibat goyangan yang dihasilkan dari bencana gempa bumi. Likuifaksi hanya terjadi pada jenis tanah pasir lepas yang jenuh atau tersaturasi [1]. Likuifaksi tergantung dari getaran yang terjadi, partikel tanah, kepadatan, dan muka air tanah. Pada umumnya likufaksi terjadi dipicu oleh Gempa yang besar [2]. Gempa bumi besar di dunia seperti di Taiwan (1999), Turkey (1999), Northridge (1994), Niigata & Alaska (1964), dan India (1993 dan 1999) tersebut mengakibatkan terjadinya likuifaksi. Berdasarkan kejadian di dunia tersebut, gempa dengan kekuatan 6.0 M_w dapat memicu terjadinya likuifaksi. Seperti dua gempa di India yaitu gempa Latur (1993) dengan kekuatan 6.2 M_w dan gempa Jabalpur (1997) dengan 6.0 M_w .

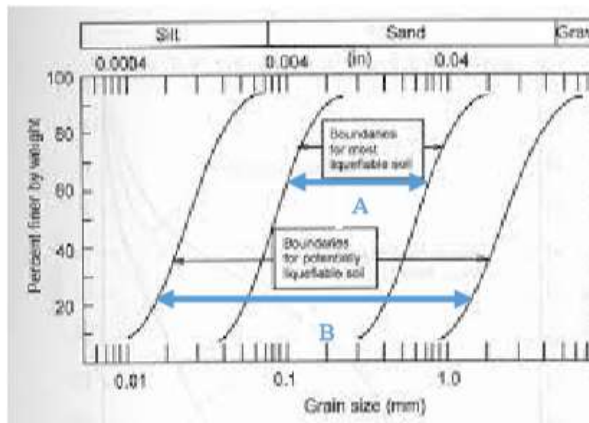
Kota Surabaya menurut penemuan Pusat Studi Gempa Nasional pada tahun 2016 adalah kota yang terdapat dua patahan bumi yang diperkirakan masih aktif. Kedua patahan tersebut adalah sesar Kendeng dan sesar Waru yang membentang membelah Surabaya menjadi dua bagian yaitu utara dan selatan. Sesar Kendeng di Surabaya ini berpotensi menghasilkan gempa dengan guncangan kategori *strong* (kuat) hingga *very strong* (sangat kuat) [3]. Menurut Amien dalam [4] Kerusakan yang diakibatkan oleh gempa tersebut bisa mengakibatkan kerusakan yang sangat besar, karena gempa yang terjadi bisa mencapai 6.5 M_w . Selain itu, Wilayah kota Surabaya merupakan daerah yang rata-rata dataran rendah, yang berkisar 80% merupakan endapan aluvial dan sisanya merupakan perbukitan rendah yang dibentuk oleh tanah hasil dari pelapukan batuan tersier [5]. Secara geologi,

Surabaya juga berupa cekungan endapan aluvial muda hasil endapan laut dan sungai, tuf dan batu pasir [6]. Sehingga perlu adanya dilakukan analisis terhadap potensi likuifaksi pada wilayah Surabaya.

Secara umum studi terdahulu mengidentifikasi likuifaksi berdasarkan beberapa aspek, yaitu:

- Aspek Gradasi, mengelompokkan hasil analisa ayakan suatu lapisan tanah, dimana zone A atau Zona B [7] termasuk dalam kategori berpotensi likuifaksi seperti pada **Gambar 1**.
- Aspek *relative density* (DR), berapa nilai DR yang dibutuhkan agar tidak terjadi likuifaksi [1]
- Aspek *Fine content* (FC) dan PI (Plasticity Index), tanah *cohesionless* yang memiliki kurang dari 15 persen (berat) partikel lebih kecil dari 0,005 mm, *liquid limit* (Batas cair) kurang dari 35 persen, dan kandungan air in situ lebih besar dari 0,9 kali batas cair dapat rentan terhadap likuifaksi [8].
- Aspek Derajat Kejenuhan (SR) dan Kedalaman, Meskipun tanah yang memiliki water content rendah telah dilaporkan mengalami likuifaksi, setidaknya 80 hingga 85 persen derajat kejenuhan umumnya dianggap sebagai kondisi yang diperlukan tanah untuk mengalami likuifaksi. Lapisan yang berada 15 meter dari permukaan tanah lebih mungkin terjadi likuifaksi daripada lapisan yang lebih dalam [8]
- Aspek jumlah pukulan SPT, Lapisan tanah dengan Jumlah Pukulan SPT yang dinormalkan $(N1)_{60} < 22$ memiliki kemungkinan untuk terjadi likuifaksi. Mercuson 1990 menyarankan jumlah SPT $(N1)_{60} < 30$ sebagai ambang untuk mencurigai potensi likuifaksi [9]. Nilai

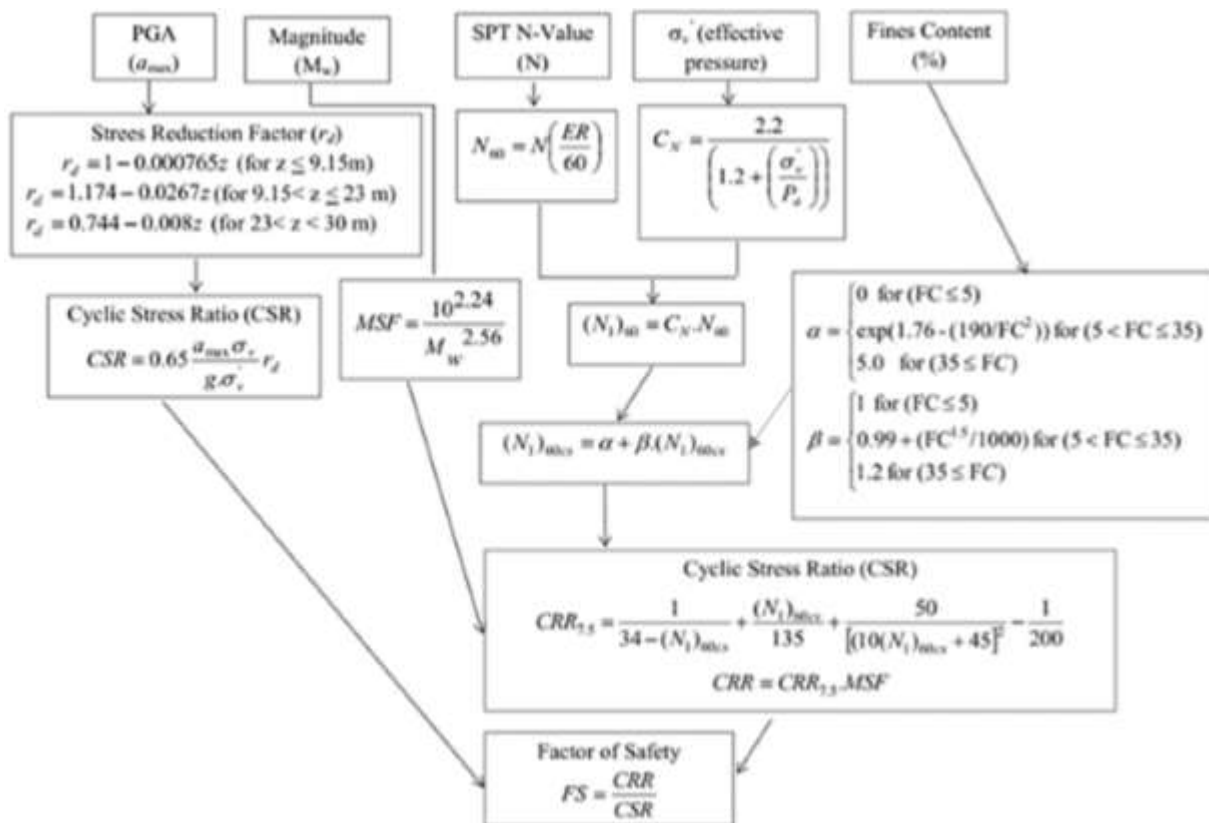
$(N1)_{60}$ pada analisa ini diitung menggunakan persamaan metode Youd-Idriss [10].



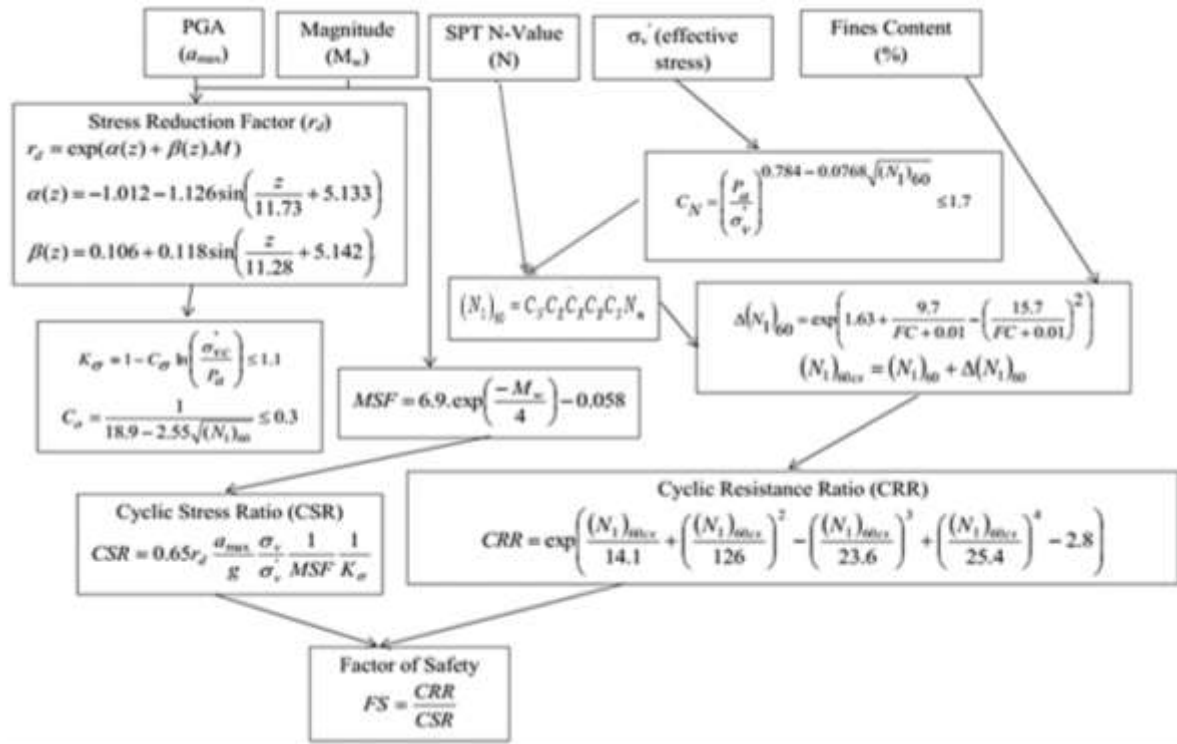
Gambar 1. Batas-batas tanah yang berpotensi likuifaksi [7]

- *Cyclic Stress Ratio (CSR)*, *Cyclic Resistance Ratio (CRR)* dan *Factor of safety (FS)*, dihitung berdasarkan data *Standard*

Penetration Test (SPT) dengan menggunakan dua metode. Metode Youd-Idriss [10] dalam [11] yaitu dengan analisis potensi likuifaksi. CSR, rd (faktor reduksi kedalaman) ditentukan berdasarkan rentang kedalaman. Nilai CRR ditentukan dari besarnya nilai SPT yang dikoreksi berdasarkan nilai FC ($(N1)_{60cs}$). Alur analisis menggunakan metode ini disajikan pada **Gambar 2**. Metode yang kedua yaitu Idriss and Boulanger [12] dalam [11] mengusulkan metode analisis semi empiris likuifaksi akibat gempa. Metode ini menggunakan FC dan SPT terkoreksi ($(N1)_{60cs}$) dalam perhitungan CRR. Metode ini juga menggunakan koreksi tekanan overburden (K_s). Bagan alir metode ini disajikan pada **Gambar 3**.



Gambar 2. Bagan alir Metode Youd-Idriss [11]



Gambar 3. Bagan alir Metode Idriss and Boulanger [11]

2. METODE PENELITIAN

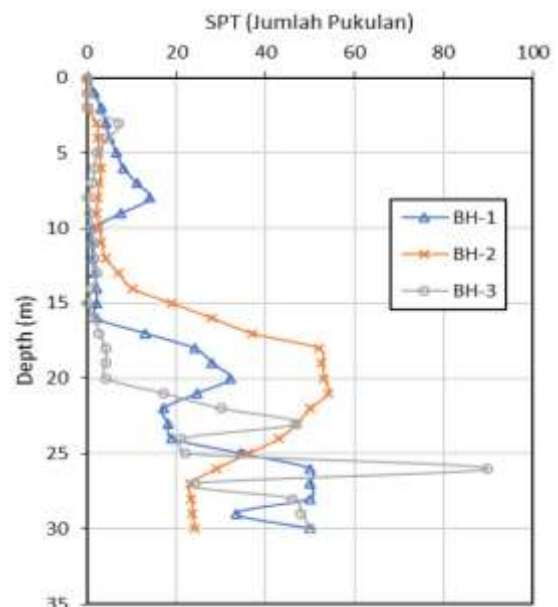
2.1. Data Gempa

Data gempa yang digunakan dalam penelitian ini adalah mengacu pada SNI 8460-2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik [13]. Untuk kegempaan bangunan gedung dan non gedung, kriteria perancangan gempa digunakan umur rencana 50 tahun, probabilitas terlampaui 2%, dan periode ulang 2500 tahun. Sehingga didapatkan dari Peta Sumber dan Bahaya Gempa Indonesia Tahun 2017 bahwa Peak Ground Acceleration (PGA) wilayah Surabaya adalah 0.3-0.4 g. Dalam penelitian ini digunakan PGA 0.4 g dan kekuatan gempa 6.0 M_w .

2.2. Data Tanah

Data tanah yang digunakan dalam penelitian ini adalah data tanah yang diambil di lokasi Surabaya Pusat. Terdapat tiga sampel tanah dari tiga lokasi yang berbeda

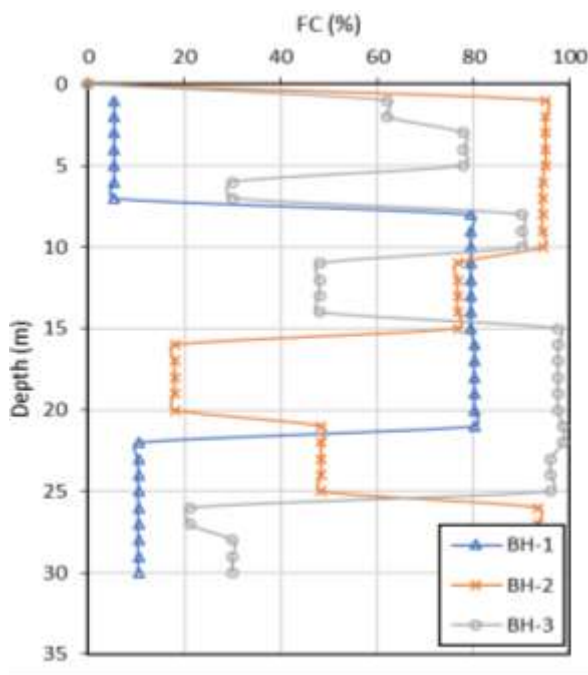
dengan nama BH1, BH2, dan BH-3. Diantaranya data tanah yang digunakan adalah berupa SPT (**Gambar 4**), gamma tanah, kurva gradasi, nilai FC (**Gambar 4**), SR, dan DR.



Gambar 4. Data SPT

2.3. Analisis Awal Potensi Likuifaksi

Analisis awal potensi likuifaksi ini melihat potensi likuifaksi berdasarkan lima aspek, yaitu aspek gradasi, DR, FC (yang masing-masing data tanah di tunjukkan di Gambar 5), SR, dan jumlah pukulan $(N1)_{60}$ setiap kedalaman lapisan tanah. Dari kelima aspek tersebut pada setiap kedalaman kemudian dibandingkan jika lebih dari 50% menyatakan likuifaksi, maka hasil analisa awal pada kedalaman tersebut dianggap berpotensi likuifaksi.



Gambar 5. Rekapitulasi nilai FC

2.4. Analisis Lanjutan Potensi Likuifaksi

Analisis lanjutan dengan memasukkan input dan menghitung sesuai dengan bagan alir. CSR, CRR, dan SF setiap kedalaman dihitung menggunakan dua metode. Masing-masing metode memberikan nilai CSR, CRR dan SF yang berbeda. Jika SF menunjukkan angka dibawah 1.5, itu artinya pada kedalaman tersebut tanah berpotensi likuifaksi. Hasil dari kedua metode tersebut dibandingkan, Jika salah satunya menyatakan likuifaksi, maka dari hasil

analisis lanjutan menganggap bahwa pada kedalaman tersebut berpotensi terjadi likuifaksi.

2.5. Kesimpulan analisis Potensi Likuifaksi

Setelah mendapatkan potensi likuifaksi setiap kedalaman tanah pada analisis awal dan analisis lanjutan, untuk mendapatkan kesimpulan apakah pada lapisan tersebut berpotensi terjadi likuifaksi, hasil analisis awal dibandingkan dengan analisis lanjutan. Jika salah satunya menyatakan likuifaksi, maka dapat disimpulkan bahwa pada kedalaman tersebut berpotensi terjadi likuifaksi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil analisis Awal

Hasil Analisis awal pada Tabel 1 merupakan hasil menggunakan data tanah BH-1.

Tabel 1. Analisis Awal data tanah BH-1

Depth (m)	Gradasi	DR	FC	SR	SPT	Kesimpulan Analisis Awal
1	L	L	L	L	L	L
2	L	L	L	L	L	L
3	L	L	L	L	L	L
4	L	L	L	L	L	L
5	L	L	L	L	L	L
6	L	L	L	L	L	L
7	L	L	L	L	L	L
8	A	A	A	L	L	A
9	A	A	A	L	L	A
10	A	A	A	L	L	A
11	A	A	A	L	L	A
12	A	A	A	L	L	A
13	A	A	A	L	L	A
14	A	A	A	L	L	A
15	A	A	A	L	L	A
16	A	A	A	L	L	A
17	A	A	A	L	L	A

18	A	A	A	L	L	A
19	A	A	A	L	L	A
20	A	A	A	L	L	A
21	A	A	A	L	L	A
22	L	L	L	L	L	L
23	L	L	L	L	L	L
24	L	L	L	L	L	L
25	L	L	L	L	L	L
26	L	L	L	L	L	L
27	L	L	L	L	L	L
28	L	L	L	L	L	L
29	L	L	L	L	A	L
30	L	L	L	L	A	L

Catatan: L = berpotensi likuifaksi, A = Aman

Dari **Tabel 1** dapat dilihat bahwa data tanah BH-1 memiliki potensi likuifaksi pada dari kedalaman 1 – 7 m. Sedangkan pada kedalaman 8-21 m menunjukkan aman terhadap likuifaksi. Tetapi dari kedalaman 22-30m menunjukkan potensi terjadi likuifaksi.

Tabel 2. Rekapitulasi analisis awal

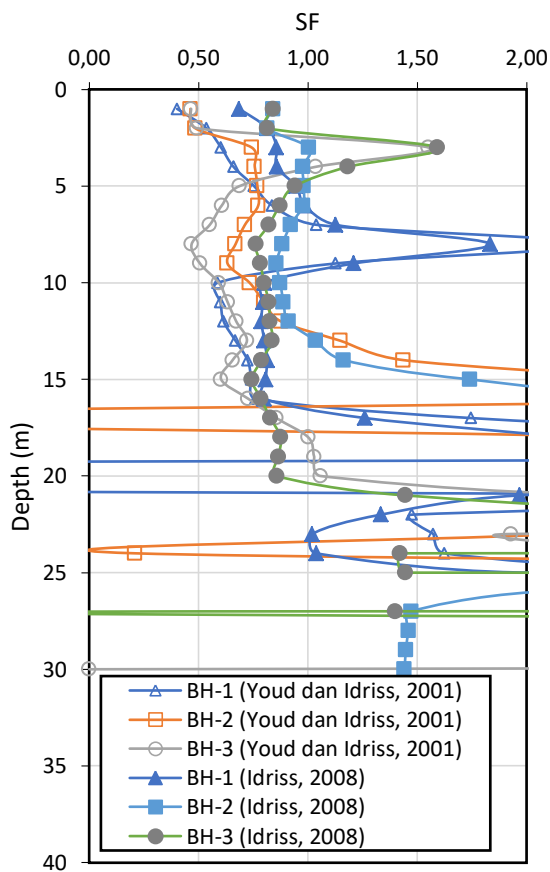
Depth (m)	Kesimpulan Analisa Awal		
	BH-1	BH-2	BH-3
1	Likuifaksi	Aman	Aman
2	Likuifaksi	Aman	Aman
3	Likuifaksi	Aman	Aman
4	Likuifaksi	Aman	Aman
5	Likuifaksi	Aman	Likuifaksi
6	Likuifaksi	Aman	Likuifaksi
7	Likuifaksi	Aman	Likuifaksi
8	Aman	Aman	Aman
9	Aman	Aman	Aman
10	Aman	Aman	Aman
11	Aman	Aman	Aman
12	Aman	Aman	Aman
13	Aman	Aman	Aman
14	Aman	Aman	Aman
15	Aman	Aman	Aman
16	Aman	Likuifaksi	Aman

17	Aman	Likuifaksi	Aman
18	Aman	Aman	Aman
19	Aman	Aman	Aman
20	Aman	Aman	Aman
21	Aman	Aman	Aman
22	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
23	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
24	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
25	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
26	Likuifaksi	Likuifaksi	Aman
27	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
28	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
29	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
30	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi

Keseluruhan analisis awal pada BH-1, BH-2, dan BH-3 dapat dilihat pada **Tabel 2**. Dari **Tabel 2** dapat dilihat bahwa dari kedalaman 1 – 15 dan 18-21 m data tanah BH-2 menunjukkan tidak ada potensi terjadi likuifaksi. Potensi likuifaksi ada pada kedalaman 16-17 m dan 22-30 m. Pada data tanah BH-3, potensi likuifaksi ada pada kedalaman 5-7 m dan 22-30 m. Sedangkan pada kedalaman 1-4 m dan 8-21 m menunjukkan aman terhadap likuifaksi. Secara garis besar dapat disimpulkan bahwa pada kedalaman 1-7 m masih ada potensi likuifaksi, sedangkan rata-rata aman terhadap likuifaksi pada kedalaman 8 m.

3.2. Hasil analisis Lanjutan

SF dari setiap lapisan tanah dihitung menggunakan dua metode didapatkan sebagaimana pada **Tabel 3**. Dari **Tabel 3** dapat dilihat bahwa dari kedalaman 1–7 m, 9–17m dan 22-24 m untuk data tanah BH-1 menunjukkan potensi terjadi likuifaksi. Nilai SF setiap kedalaman untuk data tanah BH-1, BH-2, dan BH-3 dilihat pada **Gambar 6**.



Gambar 6 Nilai SF di setiap kedalaman

Tabel 3. Analisis lanjutan data tanah BH-1

Depth (m)	Analisis Lanjutan		Kesimpulan Analisa Lanjutan
	Youd dan Idriss, 2001	Idriss dan Boulanger, 2004	
1	L	L	L
2	L	L	L
3	L	L	L
4	L	L	L
5	L	L	L
6	L	L	L
7	L	L	L
8	A	A	A
9	L	L	L
10	L	L	L
11	L	L	L
12	L	L	L

13	L	L	L
14	L	L	L
15	L	L	L
16	L	L	L
17	A	L	L
18	A	A	A
19	A	A	A
20	L	A	L
21	A	A	A
22	L	L	L
23	A	L	L
24	A	L	L
25	A	A	A
26	A	A	A
27	A	A	A
28	A	A	A
29	A	A	A
30	A	A	A

Catatan: L = berpotensi likuifaksi, A = Aman

Rekapitulasi hasil kesimpulan Analisis lanjutan dengan menggunakan data BH-1, BH-2, dan BH-3 dapat dilihat di Tabel 4. Dari Tabel 4, hampir semua kedalaman memiliki potensi likuifaksi hingga kedalaman 17m.

Tabel 4. Rekapitulasi analisis lanjutan

Depth (m)	Kesimpulan Analisis Lanjutan		
	BH-1	BH-2	BH-3
1	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
2	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
3	Likuifaksi	Likuifaksi	Aman
4	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
6	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
7	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
8	Aman	Likuifaksi	Likuifaksi
9	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
10	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
11	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
12	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi

13	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
14	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
15	Likuifaksi	Aman	Likuifaksi
16	Likuifaksi	Aman	Likuifaksi
17	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
18	Aman	Aman	Likuifaksi
19	Aman	Aman	Likuifaksi
20	Likuifaksi	Aman	Likuifaksi
21	Aman	Aman	Likuifaksi
22	Likuifaksi	Aman	Aman
23	Likuifaksi	Aman	Aman
24	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
25	Aman	Aman	Likuifaksi
26	Aman	Aman	Aman
27	Aman	Likuifaksi	Likuifaksi
28	Aman	Likuifaksi	Aman
29	Aman	Likuifaksi	Aman
30	Aman	Likuifaksi	Aman

12	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
13	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
14	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
15	Likuifaksi	Aman	Likuifaksi
16	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
17	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
18	Aman	Aman	Likuifaksi
19	Aman	Aman	Likuifaksi
20	Likuifaksi	Aman	Likuifaksi
21	Aman	Aman	Likuifaksi
22	Likuifaksi	Likuifaksi	Aman
23	Likuifaksi	Likuifaksi	Aman
24	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
25	Aman	Likuifaksi	Likuifaksi
26	Aman	Likuifaksi	Aman
27	Aman	Likuifaksi	Likuifaksi
28	Aman	Likuifaksi	Aman
29	Aman	Likuifaksi	Aman
30	Aman	Likuifaksi	Aman

Sedangkan Tabel 5 menunjukkan hasil kesimpulan analisis, yaitu setelah membandingkan hasil kesimpulan analisis awal (Tabel 2) dan hasil kesimpulan analisis lanjutan (Tabel 4). Dapat disimpulkan bahwa pada Tabel 5, secara umum likuifaksi terjadi hingga kedalaman 17m.

Tabel 5. Rekapitulasi analisis likuifaksi

Depth (m)	Kesimpulan Analisis		
	BH-1	BH-2	BH-3
1	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
2	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
3	Likuifaksi	Likuifaksi	Aman
4	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
5	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
6	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
7	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
8	Aman	Likuifaksi	Likuifaksi
9	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
10	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi
11	Likuifaksi	Likuifaksi	Likuifaksi

4. KESIMPULAN

Dari hasil pengolahan data dan analisa data yang telah dilakukan pada penelitian Akhir ini, dapat diambil kesimpulan bahwa:

1. Berdasarkan analisis awal, pada kedalaman 1-7 m masih ada potensi likuifaksi, sedangkan tidak ada lagi potensi likuifaksi pada kedalaman lebih dari 22 m.
2. Berdasarkan analisis lanjutan, hampir semua kedalaman memiliki potensi likuifaksi hingga kedalaman 17 m.
3. Berdasarkan kesimpulan analisis, secara umum likuifaksi terjadi hingga kedalaman 17 m.
4. Diperlukan data tanah yang lebih banyak dan lebih lengkap untuk penelitian selanjutnya.
5. Diperlukan perbandingan dengan metode-metode yang lain dalam menganalisis potensi likuifaksi.

5. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Seed, H. B. dan Idriss, I. M. (1971). Simplified Procedure for Evaluating Soil Liquefaction Potential. *J. Geotech. Engrg.*, ASCE 97. 9:1249-1273.
- [2] Tosun, H., Seyrek, E., Orhan, A., Savas, H., dan Turkoz, M., (2011), Soil Liquefaction Potential In Eskisehir, NW Turkey. *Natural hazards and Earth System Sciences*, 11:1071-1082.
- [3] Rachmaningtyas, A. P., Purwanto, M. S., Widodo, A. (2017). Identifikasi Percepatan Tanah Maksimum (PGA) dan Kerentanan Tanah Menggunakan Metode Mikritremor Jalur Sesar Kendeng. *Jurnal Geosaintek* 03, no 2, 107-114.
- [4] Effendi, Zaenal “Surabaya Dilewati 2 Patahan Aktif, Berpotensi Gempa darat 6,5 SR”, *detik news*, 08 November 2017.
- [5] Bahri, S dan Madlazim, (2012) Pemetaan Topografi, Geofisika dan Geologi Kota Surabaya, *Jurnal Penelitian Fisika dan Aplikasinya*. ISSN: 20879946.
- [6] Soekardi, *Geologi Lembar Pacitan, Jawa, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi Indonesia*, 1992
- [7] Tsuchida, H., (1970) Evaluation of liquefaction potential of sandy deposits and measures against liquefaction induced damaged. *Proceedings of the annual seminar of the Port and Harbour Research Institute*, 3-1:3-33.
- [8] Seed, H. B., dan Idriss, I. M. (1982). “Ground motions and soil liquefaction during earthquakes,” *Earthquake Engineering Research Institute Monograph*, Oakland, Calif
- [9] Mercuson III, W. F., Hynes, M.E., & Franklin, A. G. (1990). Evaluation and se of residual strength in seismic safely analysis of embankments. *Earthquake Spectra* 6, 3:529-572.
- [10] Youd T.L., dan Idriss, I.M (2001). Liquefaction Resistance of Soils: Summary Report from The1996 NCEER and 1998 NCEER/NSF Workshops on Evaluation of Liquefaction Resistance of Soils, *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering Div*, ASCE 127. 4:297-313.
- [11] Mase, Z. L., (2018). Studi kehandalan metode analisis likuifaksi menggunakan SPT Akibat Gempa 8,6 Mw, 12 September 2007 di Area Pesisir Kota Bengkulu, *JurnalTeoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil*, 25(1):53-60.
- [12] Idriss, I.M., dan Boulanger, R.W., 2008, *Soil Liquefaction During Earthquakes*, *Earthquake Engineering Research Institute (EERI)*, USA.
- [13] SNI 8460-2017, 2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Bandung: Badan Standarisasi Nasional

